

パイルベント構造物を対象とした応答変位法の適用性検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○宇佐美敦浩 室野 剛隆

1. はじめに

地中梁を省略したパイルベント構造は、掘削土量が低減されるなど施工性が優れることから都市部における連続立体交差化事業をはじめ、近年多く用いられている。しかし、地中梁がないことにより、地震時の応答特性は特有である。具体的には、杭と柱部材の間でモーメント分布が連続するため、地盤変位によるモーメントが杭だけではなく、柱部まで及ぶなど、慣性力と地盤変位の両者が構造物に対して複雑に作用する。しかし、これらの動的相互作用は必ずしも明らかにはなっていない。

設計実務で多用される静的解析を適用するにあたっては、構造系が比較的単純で1次の振動モードが卓越する必要がある¹⁾が、パイルベント構造では動的応答特性が不明であるため、静的解析の適用性が明らかでない。そこで、本研究では、パイルベント構造の動的応答特性を把握した上で静的解析の適用性について検討する。

2. 検討条件

対象構造物は図1に示す柱高さ5.8mのパイルベントラーメン高架橋であり、構造物の等価固有周期は $T_{eq}=1.03(s)$ である。地盤条件としては層構造が比較的一様な地盤(図2参照)であり、固有値解析から求まる地盤の固有周期は $T_g=1.36(s)$ である。なお、耐震標準¹⁾によれば本地盤はG6地盤(軟弱地盤)に該当する。

慣性力と地盤変位による応答特性を各々把握するため、動的解析と静的解析とも、両者を作用させた場合と各々を独立に作用させた場合について検討した(表1参照)。なお、動的解析では自由地盤と構造物を一体とした質点系一体型モデルを採用し、入力地震波は断層近傍の地震を想定したL2spcII¹⁾(図3参照)を用いた。

3. 検討結果

動的解析により得られた構造物天端における時刻歴曲げモーメント波形および、各節点の全時刻における最大値を示した結果を図4,5に示す。これらの図より、地盤系のモーメントは柱部でも発生していること、また、柱部では全体系のモーメントが最大となっていることが確認できる。これより、応答値の算定にあたっては慣性力だけでなく、地盤変位の影響も考慮する必要があることが言える。なお、本条件では慣性力と地盤変位がほぼ同位相で作用している(図4参照)が、この傾向は地盤の固有周期(T_g)と構造物の固有周期(T_{eq})の比により変化することが分かっている^{2),3)}。

キーワード パイルベント、耐震設計、動的解析、静的解析

連絡先 〒185-8540 国分寺市光町2-8-38(公財)鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター TEL042-573-7394

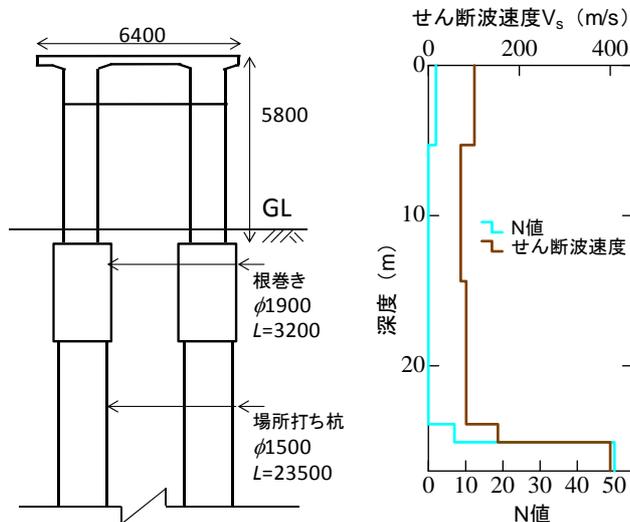


図1 対象構造物

図2 地盤条件

表1 解析ケース

| 解析ケース名 | | 考慮する作用 | 算定手法 |
|--------|------|----------|----------|
| 動的 | 全体系 | 慣性力+地盤変位 | 通常の動的解析 |
| | 慣性力系 | 慣性力 | 地盤固定 |
| | 地盤系 | 地盤変位 | 構造物の質量ゼロ |
| 静的 | 全体系 | 慣性力+地盤変位 | 応答変位法 |
| | 慣性力系 | 慣性力 | 慣性力設計 |
| | 地盤系 | 地盤変位 | 応答変位法 |

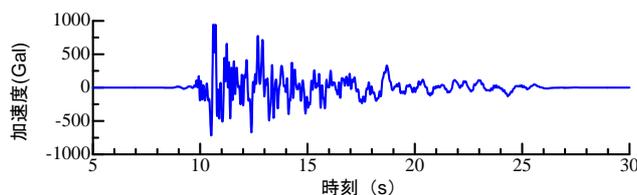


図3 入力波形 (L2spcII)

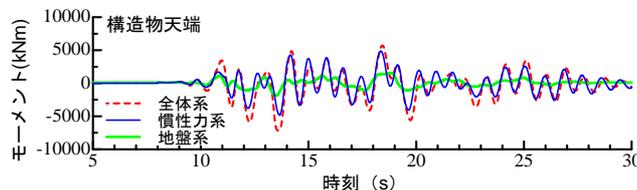


図4 時刻歴モーメント

静的解析では、まず慣性力のみを作用させたプッシュオーバー解析を実施した上で、非線形スペクトル法により、最大応答値を算出した。なお、非線形スペクトル法は、標準スペクトル^リではなく、動的解析で得られた地表面の時刻歴加速度波形を用いて、1自由度系の弾塑性応答解析を実施し、個別に所要降伏震度スペクトルを算出した。その結果、応答塑性率 $\mu_d=1.1$ であった。その後、最大応答震度と最大地盤変位の両者が最終ステップで作用するように漸増載荷し、全体系の解析(応答変位法)を実施した。ここで、地盤変位は地盤の動的解析から、地表面変位が最大となる時刻の変位を用いた。これらは、動的解析と静的解析の両方で同等の作用を与えることにより、解析手法の違いのみを比較するために実施した。

以上の方法により静的解析を行い、得られた荷重—変位関係を図6に示す。全体系は地盤変位が作用しているため、慣性力系に比べ、降伏震度が低く、また、勾配が緩やかである。同図には動的解析のうち、全体系の履歴も重ねて示している。これより、動的解析と静的解析(全体系)の最大応答点は同程度であることが確認できる。

次に静的解析と動的解析の差異に関して、モーメント分布を対象に比較する(図7参照)。同図より、静的解析の結果は概ね動的解析の結果と同程度であることが分かる。従って、静的解析(応答変位法)を用いても、地震時の応答が適切に算定可能であることが言える。

ただし、本検討では応答塑性率が小さく、構造物の非線形性が顕著に表れない領域であった。塑性化が進んだ場合には、応答変位法において最大応答震度まで載荷できない場合が考えられる。また、本検討では地盤が比較的単純な層構造であったため、地盤変位の急増箇所が見られなかった。一方、地層構造が複雑な場合、地盤のばらつきが大きくなる可能性があるとともに、地盤変位の急増が柱部のモーメント分布にも影響を及ぼすことが考えられる。これらの条件に対する検討が今後の課題である。

4. まとめ

パイルベント構造物を対象として、慣性力と地盤変位の動的相互作用について、検討を行った。その結果、地盤変位の影響によるモーメントが柱上部まで受けること、また、地盤変位も考慮した全体系において、応答が最大となることが分かった。従って、応答値を算定する際には慣性力のみではなく、地盤変位を考慮する必要があることが明らかとなった。また、静的解析の適用性を検討した結果、静的解析により得られる応答値は動的解析の結果と同程度であることから、パイルベント構造物を対象とした場合においても、静的解析(応答変位法)が適用できることが明らかとなった。ただし、非線形化が顕著な場合や地層構造が複雑な場合などの条件における適用性の検討が課題である。

参考文献

1) (公財) 鉄道総合技術研究所、鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、2012。 2)室野剛隆、西村昭彦、永妻真治：軟弱地盤中の杭基礎構造物の地震応答特性と耐震設計への応用、構造工学論文集 Vol.44A、pp631～640、1998.3 3)宇佐美敦浩、室野剛隆：パイルベント構造物における地盤と構造物の動的相互作用に関する研究、第14回日本地震工学シンポジウム pp358～366、2014.4

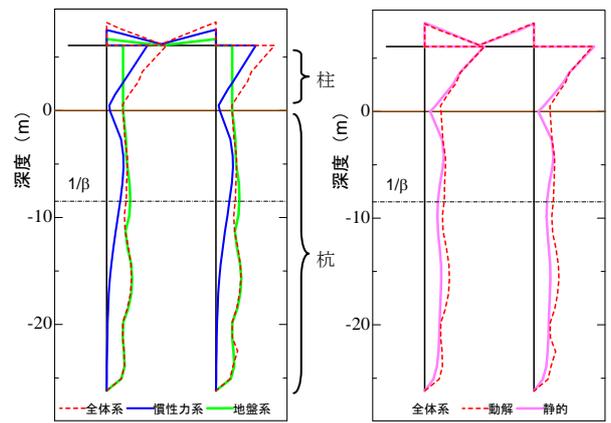


図5 モーメント分布 (動解の比較)

図7 モーメント分布 (全体系の比較)

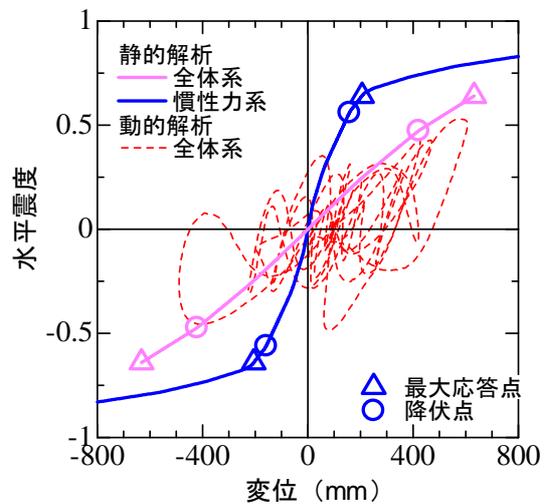


図6 荷重—変位関係